

## ELECTRON BEAM DEVICE USING CARBON NANOTUBE COLD CATHODE

Publication number: JP2004047254

Publication date: 2004-02-12

Inventor: NAGAHAMA ICHIROTA; YAMAZAKI YUICHIRO;  
WATANABE KENJI; KARIMATA TSUTOMU; SATAKE  
TORU

Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO; EBARA CORP

Classification:

- International: H01L21/66; H01J9/02; H01J37/20; H01J37/28;  
H01J37/29; H01L21/66; H01L21/66; H01J9/02;  
H01J37/20; H01J37/26; H01J37/28; H01L21/66; (IPC1-  
7): H01J37/20; H01J9/02; H01J37/28; H01J37/29;  
H01L21/66

- European:

Application number: JP20020202504 20020711

Priority number(s): JP20020202504 20020711

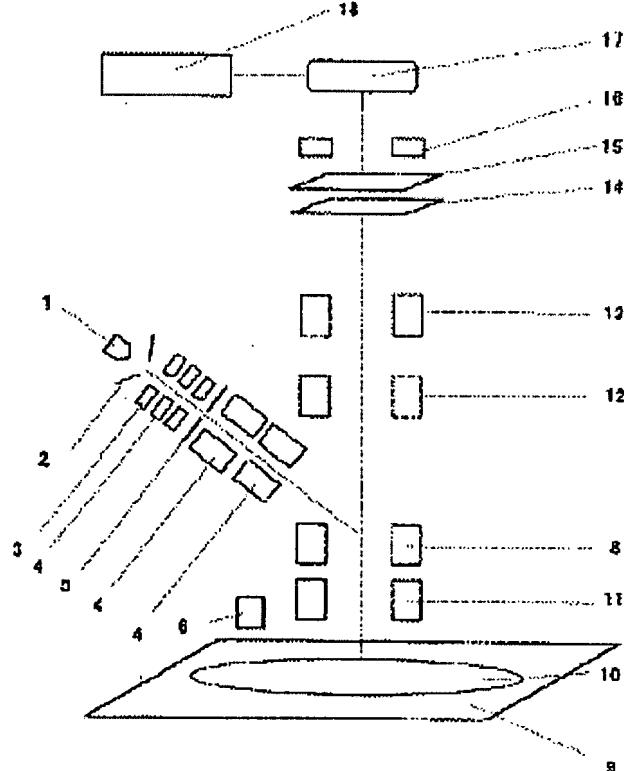
[Report a data error here](#)

### Abstract of JP2004047254

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an electron source for charge-up neutralization capable of irradiating uniform electrons on a sample stably for long hours.

**SOLUTION:** The electron beam device (of an SEM or a mapping projection type) for making observation and evaluation of a sample by irradiating a primary electron beam and the beam on the surface of the sample includes one for neutralizing charge-up of the sample by irradiating electrons on it for another electron source apart from the primary electron beam in a pre-process of the observation and/or evaluation of the sample or on the same process. A carbon nanotube (CNT) cold cathode is used for this other electron source.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-47254

(P2004-47254A)

(43) 公開日 平成16年2月12日(2004.2.12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F I

テーマコード(参考)

H01J 37/20  
H01J 9/02  
H01J 37/28  
H01J 37/29  
H01L 21/66

H01J 37/20  
H01J 9/02  
H01J 37/28  
H01J 37/29  
H01L 21/66

Z N M H  
B  
B  
J

4M106  
5C001  
5C033  
5C127

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号  
(22) 出願日

特願2002-202504 (P2002-202504)  
平成14年7月11日 (2002.7.11)

(71) 出願人 000003078  
株式会社東芝  
東京都港区芝浦一丁目1番1号

(71) 出願人 000000239  
株式会社荏原製作所  
東京都大田区羽田旭町11番1号

(74) 代理人 100089705  
弁理士 社本 一夫

(74) 代理人 100080137  
弁理士 千葉 昭男

(74) 代理人 100083895  
弁理士 伊藤 茂

(74) 代理人 100092967  
弁理士 星野 修

最終頁に続く

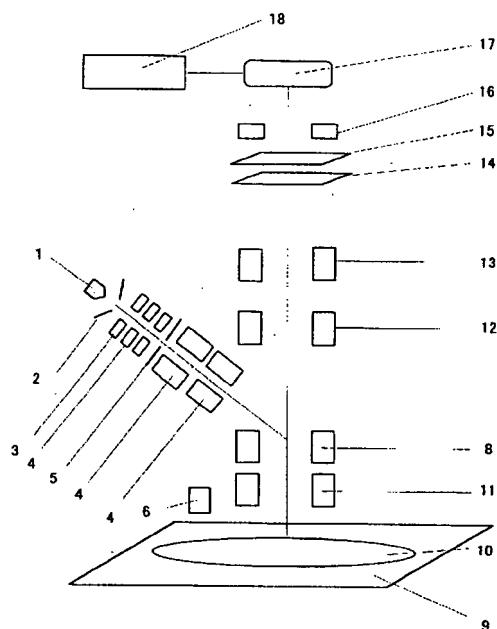
(54) 【発明の名称】カーボンナノチューブ冷陰極を用いた電子ビーム装置

## (57) 【要約】

【課題】試料に対し均一な電子を長時間安定に照射することができるチャージアップ中和用電子源を提供する。

【解決手段】一次電子ビームと該ビームを試料表面に照射して、該試料の観察および又は評価を行う(SEM型または写像投影型の)電子ビーム装置であって、該試料の観察および又は評価の前工程、または、同一工程にて、該一次電子ビームとは別の電子源により、試料に電子を照射して、該試料のチャージアップを中和する装置を含む電子ビーム装置であって、当該別電子源にカーボンナノチューブ(CNT)冷陰極を使用する事を特徴とする。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

一次電子ビームと該ビームを試料表面に照射して、該試料の観察および又は評価を行う（SEM型または写像投影型の）電子ビーム装置であって、該試料の観察および又は評価の前工程、または、同一工程にて、該一次電子ビームとは別の電子源により、試料に電子を照射して、該試料のチャージアップを中和する装置を含む電子ビーム装置であって、当該別電子源にカーボンナノチューブ（CNT）冷陰極を使用する事を特徴とする電子ビーム装置。

## 【請求項 2】

該カーボンナノチューブ冷陰極からのエミッション電流制御を、該試料の陽極電位と、カーボンナノチューブ冷陰極との間の電界強度の制御により行う事を特徴とする請求項1の電子ビーム装置。 10

## 【請求項 3】

上記カーボンナノチューブ冷陰極は、試料に対向する板状、または、円筒上の鉄（Fe）固体上面に、該カーボンナノチューブをH<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub> フラズマCVD（化学的気相成長）法により垂直配向成長（固体上面に対して該カーボンナノチューブを垂直に成長）させる事を特徴とする請求項1または2の電子ビーム装置。

## 【請求項 4】

上記フラズマCVD（化学的気相成長）法において、該カーボンナノチューブの成長を促進するFe、Co、Niなどの触媒の添加量を増減させる事で、試料上の単位面積あたりのカーボンナノチューブの形成密度を制御した事を特徴とする請求項1～3のいずれかによる電子ビーム装置。 20

## 【請求項 5】

該カーボンナノチューブ冷陰極の使用前に、加熱処理を行って、カーボンナノチューブ表面上に形成された水蒸気、ハイドロカーボンなどの吸着分子を脱離し、該表面からの電子放出を容易にした事を特徴とする請求項1～4のいずれかによる電子ビーム装置。

## 【請求項 6】

請求項1ないし5のいずれかによる電子ビーム装置を用いてプロセス途中或いは終了後のウェーハの評価を行うことを特徴とするデバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、試料表面の構造・電気的導通（電子ビームテスティング）等の検査・観察・評価等を行う電子ビーム装置に関するものであり、例えば、最小線幅0.15μm以下のパターン上欠陥を高精度・高信頼性、高スループットで検査を行う電子ビーム装置および該装置を用いてプロセス途中或いは終了後のウェーハの評価を行うデバイスの製造方法方法に関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来、基板表面に電子ビームを照射してスキャンし、その基板から放出される2次電子を検出し、その検出結果からウエハ画像データを生成して、ウエハ上ダイ毎の画像データと隣接する画像データを比較することによって基板表面のパターンの欠陥を検出するSEM方式の検査装置が知られている。また、1次電子ビームを照射しウエハ上の画像を2次レンズ系によって結像させる写像投影型の検査装置も公知である。 40

## 【0003】

## 【発明が解決しようとする課題】

上記のSEM方式、または、写像投影型などの広い面積を同時に照明する方式においては、電子ビームを照射することによって、試料またはウエハがチャージアップして観察、評価用の画像が歪む。これらの画像データを元にデバイスウエハ上に形成された隣接ダイの画像比較によって、欠陥検査を行った場合には、虚の欠陥を検出する（虚報欠陥）などの

10

20

30

40

50

問題があった。このようなチャージアップを抑制するために、W(タンクステン)などの熱フィラメント型電子源によって、あらかじめ該試料またはウエハに電子照射を行って、チャージアップを抑制する方法が知られている。ところが、このような電子照射においては、熱フィラメントの温度ドリフトによる放出電流のバラツキが発生し、長時間の安定性が欠けていた。さらに、この放出電流を制御するための電極(ウェーネルト)を設置する必要があった。また、大面積に均一な電流密度の電子を照射できないなどの欠点を有していた。また、デバイスウエハなどの観察・評価を行う場合には、該フィラメントからの熱電子が鏡筒内の電極または絶縁物へ衝突する事によって発生する軟X線、光電子によるレジスト損傷(感光)や、電子照射によるデバイスゲート絶縁膜の破壊などの問題点があつた。本発明は、上記問題点を解決するためになされたもので、信頼性の高い表面の観察及び欠陥検出が行える電子ビーム装置を提供することを目的とする。

10

## 【0004】

## 【課題を解決するための手段】

上記問題点を解決するため、本発明では、チャージアップ低減用の電子源に低電界電子放出などの特徴を有するカーボンナノチューブ冷陰極を使用して、該試料に均一な電流密度の電子ビームを長時間安定に照射できるようにしたことを特徴とする。

## 【0005】

カーボンナノチューブ冷陰極からのエミッション電流の制御は、該試料の陽極電位と、カーボンナノチューブ冷陰極との間の電界強度の制御により行う事ができる。

## 【0006】

カーボンナノチューブ冷陰極は、例えば、20mm×20mm角の板状の鉄(Fe)基板上、またはFe製円筒棒の円形面に、H<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub> フラズマCVD(化学的気相成長)法により、カーボンナノチューブを垂直配向成長(基板に対してカーボンナノチューブを垂直に成長)させることにより形成できる。

20

## 【0007】

ここで、該基板上にデポジションするFe、Ni、Coなどの触媒の添加量を変化させることで、該カーボンナノチューブの基板上における形成密度を最適にして試料上に照射する電流密度の制御が可能となる。

## 【0008】

さらに、該カーボンナノチューブに加熱処理を行って、該材質最表面のダンクリングボンドに吸着した、水蒸気やハイドロカーボンなどの分子を脱離させる事で、電子放出を容易にことができる。

30

## 【0009】

上記カーボンナノチューブ冷陰極を、SEM方式または写像投影方式の電子ビームを照射する一次電子光学系の光軸とは別に、上述の方法で調製されたカーボンナノチューブ面を試料またはウエハと対向(向かい合わせ)して、例えば、1mm離れた位置に設置し、該カーボンナノチューブ冷陰極に高電圧を印加(陰極)し、試料を接地(陽極)電位として、該電極との間の電界によって、電子放出量の制御を行い、試料上に電子照射を行う。

## 【0010】

## 【発明の実施の形態及び実施例】

40

図1に写像投影型電子ビーム装置に適用した本発明の実施例を示す。

8~12インチのシリコンウエハ10に、LSI製造途中の回路パターンが形成されている。このウエハはX-Y-θステージ9に設置されている。電子源1からの電子ビームは、ウェーネルト2、アノード3、アバーチャ5、静電レンズ4、EXBフィルタ等のビームスリッター8等により、ビーム照射領域と照射エネルギーが制御されて、試料表面に照射される(一次電子光学系)。この照射により、試料表面からの放出電子は、写像光学系の静電レンズ11、12、13により、拡大倍率50~500倍にて、検出器に結像される(2次電子光学系)。

## 【0011】

この時、ウエハ10に対向配置されたカーボンナノチューブ冷陰極6に高電圧を印加し、

50

ウエハに電子線を照射することにより正帯電したウエハ10の電位を中和する。

#### 【0012】

図2は、上記カーボンナノチューブ冷陰極6を使用したチャージアップ中和装置の概略構造を示す図である。図において、6aはカーボンナノチューブ冷陰極6を構成する直径2mmのFe製円筒状の棒であって、そのウエハ10に対向する円形面6bにカーボンナノチューブを垂直配向成長させている。20はGND電極、21はFe製円筒棒6aを支持する絶縁物、22はカーボンナノチューブ冷陰極6と試料10との間に接続された高圧電源である。上記Fe製円筒棒6a先端のカーボンナノチューブと試料10との間の間隔は1mmに設定した。

#### 【0013】

上記カーボンナノチューブ冷陰極6に-5kVの電圧を印加して(電界強度5V/μm)、エミッション電流6μAの条件で電子照射を行い、あらかじめ正帯電したウエハ10の電位を中和した。また、該カーボンナノチューブ冷陰極の円筒面6b全面から均一な電子を長時間にわたり安定に照射できることを確認した。円筒面6bに形成されるカーボンナノチューブの形成密度や、カーボンナノチューブ冷陰極6とウエハ10の陽極電位との間の電界強度を変えることで、チャージアップ低減に必要な最適電流密度を制御することができる。

10

#### 【0014】

かかるカーボンナノチューブ冷陰極6は、カーボンナノチューブが、ナノメートルオーダーの直径で形成されているために、基板上に多数の電子源を配置できるので、電流の幅広さに相当するフリッカーノイズ( $\Delta I \propto 1/\sqrt{N}$ : Nは電子源の個数)を低減できる。すなわち、電子源の単位面積当たりの配置個数を増加させることにより、アンサンブル効果でノイズを低減させることができる。従来の真空マイクロテバイスでは、電子銃の配置間隔は1μm以上であったが、カーボンナノチューブの直径は約50nmであるので、高密度に配向成長させることによって配置間隔を100nmとすることができます、したがって、単位面積当たりの電子源の配置密度は約100倍程度となり、フリッカーノイズを1/10程度に低減させることができます。

20

#### 【0015】

検出器は、MCP(マイクロチャンネルプレート)14、蛍光板15、リレーレンズ16、TDIセンサ17の構成となっている。MCP14により検出電子の増倍がなされ、蛍光板15にて光信号に変換される。この2次元の光信号をリレーレンズ16によりTDIセンサ17に導き、画像として検出される。TDIセンサ17では、ウエハ10を連続移動しながら、2次元画像信号の取得が出来るため、高速に画像信号取得が可能となる。このTDIセンサ17からの信号は画像処理装置18により、電子像形成及び欠陥検出、欠陥分類判別がなされる。また、次工程に進むときに、欠陥検査部位が記憶され、欠陥検出及び分類判別がなされて、製造工程管理にフィードバックされる。

30

#### 【0016】

試料またはウエハ10の観察方法は、観察・評価部位をあらかじめ該カーボンナノチューブ冷陰極6により電子照射を行った後、ステージ9の移動によって該観察・評価部位を該一次電子ビームの直下に移動して観察を行う。または、ステージ9を連続移動させながら、当該プロセスを実行しても良い。このようなプロセス条件によって撮像された画像は、特に像高の高い周辺部の画像歪みを低減できた。また、該画像を用いたウエハの欠陥検査においても虚報率を大幅に低減することができた。

40

#### 【0017】

図3は、絶縁物(SiO<sub>2</sub>)に電子線を照射した時の入射電子エネルギー～2次電子等の放出効率の特性例である。 $\sigma$ が1より大きいビームエネルギーでは入射した電子よりも多くの電子が放出されるため、絶縁物表面は正にチャージアップ(帶電)される。

#### 【0018】

図4は、カーボンナノチューブ冷陰極6と試料10との間で電子放出を行った時の動作例を示すもので、カーボンナノチューブ冷陰極6の印加電圧とエミッション電流の相関およ

50

ひ該電界放出に関するFN(Fowler-Nordheim)プロットを示す。

【0019】

図4(a)は、試料10とカーボンナノチュープ冷陰極6との間の印加電圧とエミッショントリオード電流およびフローブ電流との相関を示している。フローブ電流は、ファラデーカップ(F.C.)の穴径 $\phi 50\mu m$ を用いた場合の流入電流を示している。この動作時のチャンバ圧力は、1.12E-5 [Pa]である。また、カーボンナノチュープ冷陰極6と試料10との間の間隔は、1.25mmであった。また、図4(b)は、上記動作時のFN(Fowler-Nordheim)プロットを示すもので、図示のように、横軸に $1/V$ 、縦軸に $\ln(I/V^2)$ をプロットすると直線に乗る。本発明では、簡単な構成でカーボンナノチュープ冷陰極と試料との間の電界で電子放出して試料上に電子照射を行い、また、電界強度を変えることにより照射強度を変更することができるため、エミッション電流の制御にウェーネルトが不要となる特徴を有する。

10

図1の例は、検出系に写像投影型電子ビーム検査装置を用いているが、走査型電子ビーム方式の例を図5に示す。電子銃1から放出された電子がアノードによって加速され、アバーチャ5と静電レンズ4を通過して、走査コイル7と静電レンズ4により試料表面の走査と倍率を設定して観察を行う。電子ビーム照射により放出された二次電子、又は、後方散乱電子、又は、反射電子は、ホトマルなどの電子検出器19により検出され、2次元画像等の取得が可能となる。この取得画像により、ダイバイダイあるいは画像データとデータ画像との比較等で欠陥を検出した。

【0020】

20

次に、図6および図7を参照して、上記電子ビーム装置により半導体デバイスを製造する方法の実施の形態について説明する。図6は、本発明の半導体デバイス製造方法の一例を示すフローチャートである。この例の製造工程は以下の各主工程を含む。

【0021】

- (1) ウエハを製造する工程(又はウエハを準備する工程)(ステップ100)
- (2) 露光に使用するマスクを製作するマスク製造工程(又はマスクを準備するマスク準備工程)(101)
- (3) ウエハに必要な加工処理を行うウエハプロセッシング工程(ステップ102)
- (4) ウエハ上に形成されたチップを1個ずつ切り出し、動作可能にならしめるチップ組立工程(ステップ103)
- (5) 組み立てられたチップを検査するチップ検査工程(104)

30

なお、上記それぞれの工程はさらにいくつかのサブ工程からなっている。

【0022】

これらの中での主工程の中で、半導体のデバイスの性能に決定的な影響を及ぼす主工程が(3)のウエハプロセッシング工程である。この工程では、設計された回路パターンをウエハ上に順次積層し、メモリやMPUとして動作するチップを多数形成する。このウエハプロセッシング工程は以下の各工程を含む。

【0023】

- (A) 絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、あるいは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程(CVDやスピッタリング等を用いる)
- (B) この薄膜層やウエハ基板を酸化する酸化工程
- (C) 薄膜層やウエハ基板等を選択的に加工するためのマスク(レチクル)を用いてレジストのパターンを形成するリソグラフィー工程
- (D) レジストパターンに従って薄膜層や基板を加工するエッチング工程(例えばドライエッティング技術を用いる)
- (E) イオン・不純物注入拡散工程
- (F) レジスト剥離工程
- (G) さらに加工されたウエハを検査する検査工程

40

なお、ウエハプロセッシング工程は必要な層数だけ繰り返し行い、設計通り動作する半導

50

体デバイスを製造する。

【0024】

図7は、図6のウエハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィー工程を示すフローチャートである。このリソグラフィー工程は以下の各工程を含む。

(a) 前段の工程で回路パターンが形成されたウエハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程 (ステップ200)

(b) レジストを露光する露光工程 (ステップ201)

(c) 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程 (ステップ202)

(d) 現像されたレジストパターンを安定化させるためのアニール工程 (ステップ203)

以上の半導体デバイス製造工程、ウエハプロセッシング工程、リソグラフィー工程については、周知のものであり、これ以上の説明を要しないであろう。

【0025】

上記(G)の検査工程に本発明に係る欠陥検査方法、欠陥検査装置を用いると、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、スループットよく検査ができるので、全数検査が可能となり、製品の歩留向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

【0026】

【発明の効果】

本発明においては、試料のチャージアップを中和する電子源にカーボンナノチューブ冷陰極を使用することにより、均一な電子を長時間安定に照射することができ、これにより試料表面の電位の均一化を行い、収差と歪の小さい試料表面からの放出電子像を得る事が可能となる。よって、欠陥の画像処理、検出の信頼性が向上する。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の写像投影型の実施形態を示す図である。

【図2】カーボンナノチューブ冷陰極を使用したチャージアップ中和装置の概略構成を示す図である。

【図3】絶縁物の2次電子放出効率を示す図である。

【図4】本発明のカーボンナノチューブのI-V特性及びF-N特性を示す図である。

【図5】本発明の走査型電子ビームの実施形態を示す図である。

30

【図6】本発明の半導体デバイス製造方法の一例を示すフローチャート図である。

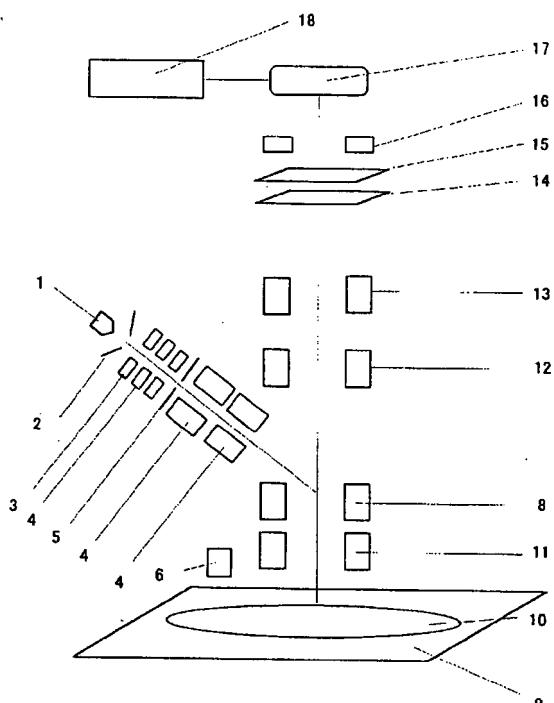
【図7】図6のウエハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィー工程を示すフローチャート図である。

【符号の説明】

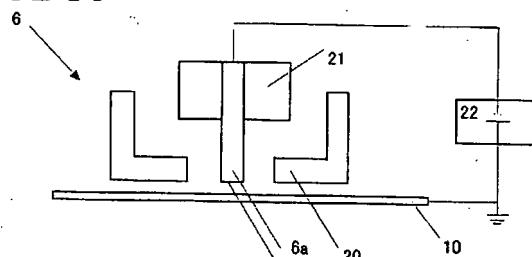
1 : 電子源	2 : ウエーネルト電極
3 : アノード (加速電極)	4 : 静電レンズ
5 : アバーチャまたは正方形開口	6 : カーボンナノチューブ冷陰極
7 : 走査コイル	8 : EXB フィルタ
9 : X-Y-θステージ	10 : ウエハまたは試料
11 : 2次系1段静電(CL)レンズ	12 : 2次系2段静電(TL)レンズ
13 : 2次系3段静電(PL)レンズ	
14 : MCP (マイクロチャンネルプレート)	
15 : 蛍光板	16 : リレーレンズ
17 : TDIセンサ	18 : 画像処理装置
19 : 検出器	20 : GND電極
21 : 絶縁物	22 : 高圧電源

40

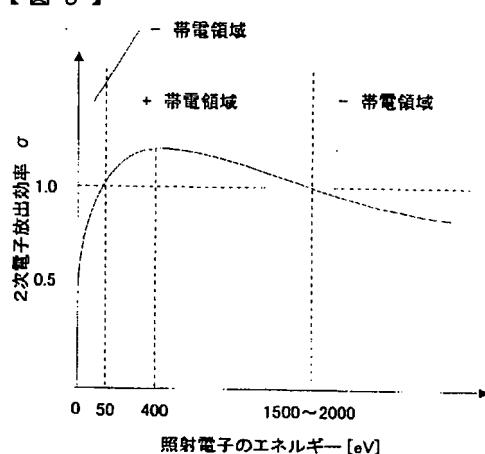
【図 1】



【図 2】

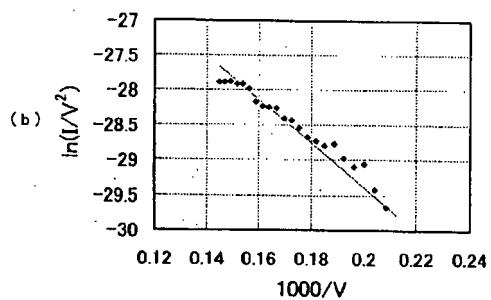
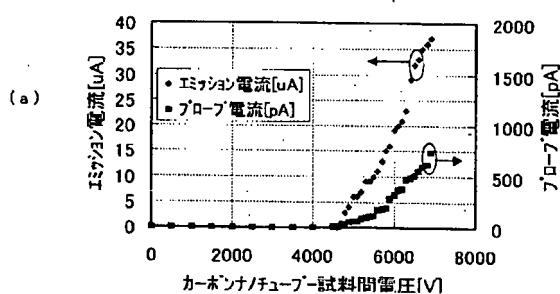


【図 3】

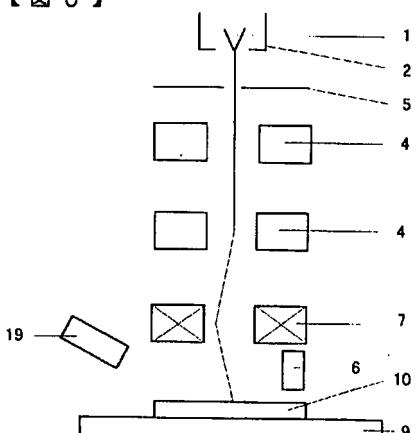


【図 4】

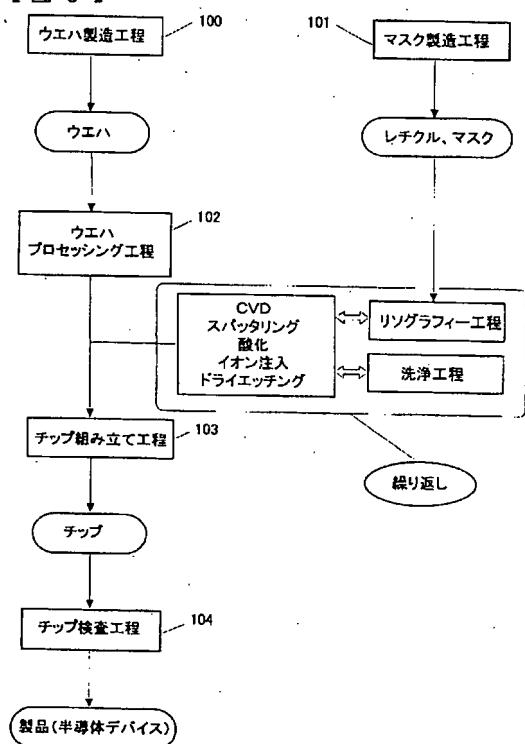
カーボンナノチューブ-試料間:1.25mm  
チャンバ圧力:1.12E-5[Pa]  
フラード-カップ直径:φ50um



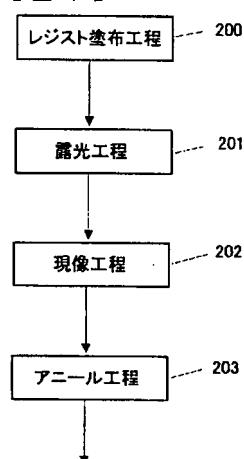
【図 5】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100093713  
弁理士 神田 藤博  
(74)代理人 100093805  
弁理士 内田 博  
(74)代理人 100106208  
弁理士 宮前 徹  
(72)発明者 長浜 一郎太  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内  
(72)発明者 山崎 裕一郎  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内  
(72)発明者 渡辺 賢治  
東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社荏原製作所内  
(72)発明者 猪俣 努  
東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社荏原製作所内  
(72)発明者 佐竹 徹  
東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社荏原製作所内  
F ターム(参考) 4M106 AA01 BA02 CA38 DB05 DB18 DB30  
5C001 CC04 CC08  
5C033 UU03 UU10  
5C127 AA04 BA01 BA15 CC03 DD09 DD93 EE02